

LAPISAN TIPIS ZnO SUSUNAN LARIK SEBAGAI SENSOR GAS

Tjipto Sujitno, Trimardji Atmono, Sayono dan Lely Susita R. M.

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN
Jl. Babarsari, Kotak Pos : 1008, Yogyakarta 55010

ABSTRAK

LAPISAN TIPIS ZnO SUSUNAN LARIK SEBAGAI SENSOR GAS. Telah dibuat sensor gas dari bahan lapisan tipis ZnO dengan sistim larik menggunakan teknik *D-C sputtering*. Tujuan dari pembuatan sistem larik ini adalah untuk menyederhanakan sistem, memperkecil konsumsi daya dan untuk memperkecil tahanan lapisan tipis yang terbentuk. Untuk maksud tersebut sistem pemanas dibuat dari lapisan tipis emas dengan sistem larik dan ditumbuhkan pada salah satu sisi substrat Alumina (Al_2O_3), sedangkan sistim elektroda dari lapisan tipis emas juga dalam bentuk sistim larik ditumbuhkan pada sisi yang lainnya. Selanjutnya lapisan tipis ZnO ditumbuhkan diatas elektroda menggunakan teknik *sputtering*. Dari hasil pengujian sistem pemanas dari tegangan battery 1,5 Volt hingga 9 Volt diperoleh hasil suhu sebesar 295°C yang merupakan suhu operasi sensor dicapai pada tegangan 4,5 Volt, sedangkan untuk tegangan pemanas 9 Volt, lapisan tipis pemanas mengelupas (rusak). Dari pengujian respon sensor untuk berbagai gas uji juga diperoleh hasil bahwa dengan sistem larik ternyata resistansinya juga semakin kecil, sebagai contoh resistansi untuk sistem satu larik sebesar $150\text{ M}\Omega$ sedangkan resistansi untuk sistim 3 larik sebesar $39\text{ M}\Omega$. Berdasar uji sensitivitas sensor juga diperoleh hasil bahwa dengan jumlah larik yang lebih banyak ternyata sensor lebih sensitif. Dari hasil analisis strukturmikro menggunakan *SEM* teramati bahwa lapisan tipis ZnO yang terbentuk terdistribusi secara merata pada permukaan substrat sedang ketebalan lapisan tipis dalam order $1,4\text{ }\mu\text{m}$. Dari analisis unsur menggunakan *EDX* teramati bahwa lapisan yang terbentuk betul-betul senyawa ZnO dengan komposisi $\text{Zn} = 80,34\%$ massa dan $\text{O} = 19,66\%$ massa. Dari analisa struktur kristal menggunakan *XRD* teramati bahwa lapisan tipis ZnO yang terbentuk merupakan polikristal dengan bidang-bidang kristal (110), (022), (101), (141), (211), (002) dan (301)

Kata kunci : Sensor gas ZnO, sistim larik, strukturmikro, *SEM*, *EDX*, *XRD*

ABSTRACT

MULTIARRAYS ZnO THIN FILM GAS SENSOR. Multiarrays system of ZnO gas sensor has been fabricated using DC sputtering technique. The objective of the arrays sistem is to simplify the system, to minimize the power consumption and to make small the resistance of the formed thin layer. For the purpose, the filament system has been made from thin layer gold in multiarrays system form deposited on back side of alumina (Al_2O_3) substrat, while the electrodes system are also made from thin layer gold in multiarrays system form deposited on front side of alumina (Al_2O_3) substrat. Then the ZnO thin layer deposited on electrodes system. From characterization done, it has been found that the working temperature in order of 295°C was achieved by applied of battery power 4.5 Volt, while for heater voltage 9 Volt, the thin layer heater initiate to spall. From responces testing done for various gas tested, it has been found that in multi arrays layer system, the higher the layer, the smaller the the resistance of the system. For example, the resistance of mono layer ZnO thin film is $150\text{ M}\Omega$, while the resistance for three layers is $39\text{ M}\Omega$. It was also found that the sensitivity of higher layer ZnO thin film more sensitive. From microstructure analysis using *SEM*, it's found that the grains were distributed homogeneously on glass substrate and the thickness of the layer is in order of $1.4\text{ }\mu\text{m}$. From chemical composition analysis using *EDX*, it's found that the formed layer is really compound with composition of $\text{Zn} = 80.34\%$ mass dan $\text{O} = 19.66\%$ mass. From structure crystal analysis using *XRD*, it's observed that the thin layer was polycrystal with the cristal plane (110), (022), (101), (141), (211), (002) dan (301)

Key words : ZnO gas sensor, multiarrays system, microstructure, *SEM*, *EDX*, *XRD*

PENDAHULUAN

Sejak tahun 2002 Bidang Akselerator P3TM-BATAN telah memulai riset dalam fabrikasi sensor gas dari lapisan tipis berbasis *MOS* (*Metal Oxide Semikonduktor*). Kelemahan utama sensor

lapisan tipis dari bahan metal oksida semikonduktor (*MOS, Metal Oxide Semiconductor*) seperti CeO_2 , SnO , TiO_2 , ZnO maupun SnO_2 yang dihadapi selama ini adalah bahwa suhu operasinya yang cukup

tinggi yaitu dalam kisaran 250 °C hingga 400 °C serta ketidak stabilannya.

Selama ini untuk menumbuhkan lapisan tipis dari bahan MOS, substrat yang digunakan adalah kaca preparat dan sumber pemanasnya terpisah. Kelemahan substrat kaca adalah bila dioperasikan pada suhu tinggi maka kaca tersebut akan mudah retak sehingga akan merusak lapisan tipis yang terbentuk, dengan demikian unjuk kerja dari sensor akan berubah dan menjadi jelek. Sedang dengan pemanas terpisah maka akan diperlukan daya yang tinggi pula dan kurang praktis (tidak portabel).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Untuk sensor yang ukuran portabel diperlukan sumber daya pemanas yang rendah dengan ukuran yang kecil pula. Hal ini menuntut rancangan dengan konsumsi daya rendah. Selama ini pemanas yang digunakan terbuat dari lembaran wolfram ukuran lebar 1 mm dan tebal 0,1 mm yang dililitkan pada kertas kaca (kertas isolasi tahan panas) dan selanjutnya dibungkus dengan kertas kaca pula. Bentuk ini memerlukan catu daya yang cukup besar dan banyak panas yang hilang. Untuk maksud tersebut telah dirancang dan dikonstruksi suatu pemanas dari lapisan tipis Au dengan ukuran tebal orde mm dan lebar 1 mm diatas substrat alumina (Al_2O_3) berukuran panjang 5 cm, lebar 1 cm dan ketebalan 1 mm. Skema dari lapisan tipis pemanas, lapisan tipis elektroda dan lapisan tipis material sensor yang dirancang dan dibuat disajikan pada Gambar 1, Gambar 2a dan Gambar 2b.

TEORI

Sensor adalah elemen pengindra yang dapat mendeteksi perubahan rangsangan dan kemudian

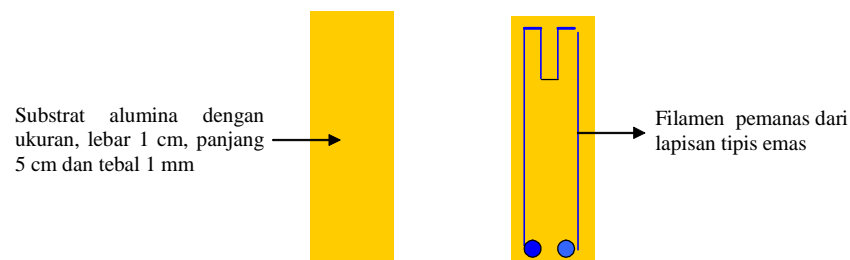
mengubahnya menjadi sinyal listrik. Besaran keluaran (*output*) yang terdeteksi dapat berupa tegangan, arus, muatan, hambatan/resistansi, induktansi maupun kapasitansi [1].

Sensor gas merupakan suatu alat yang mampu mendeteksi perubahan kondisi lingkungan dengan menghasilkan sinyal listrik yang besarnya sebanding dengan konsentrasi dan jenis gas. Sensor gas sering digunakan untuk mendeteksi keberadaan dan konsentrasi gas di suatu tempat, terutama untuk mendeteksi gas-gas berbahaya seperti CO, NO_x , SO_x .

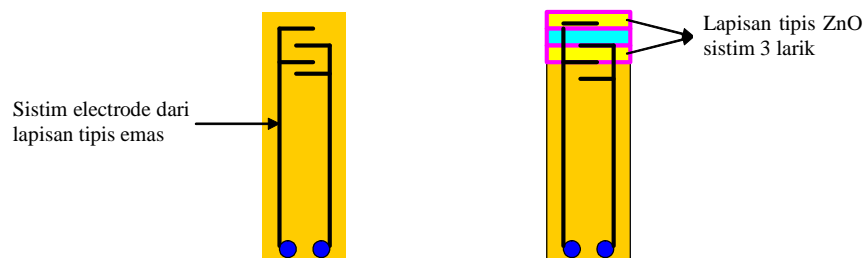
Bahan yang dapat digunakan sebagai sensor gas diantaranya adalah semikonduktor oksida logam. Pemakaian semikonduktor oksida logam sebagai sensor gas diawali pada tahun 1962 [2]. Cara kerja sensor jenis ini adalah dengan memanfaatkan perubahan konduktivitas bahan ketika menyerap suatu gas. Bahan yang sering digunakan untuk sensor gas adalah ZnO, akan tetapi TiO_2 , WO_3 , SnO_2 , In_2O_3 dan Fe_2O_3 juga dapat digunakan [3]. Beberapa jenis semikonduktor oksida logam dan kemampuan deteksinya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Beberapa jenis semikonduktor oksida logam dan kemampuan deteksinya [1,3].

Jenis Oksida	Gas yang dapat dideteksi
ZnO	H_2 , CO, NO_2 , H_2S , CH_4
TiO_2	H_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, O_2
Fe_2O_3	CO
$\text{Cr}_{1.8}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_3$	NH_3
WO_3	NO_2 , NH_3
In_2O_3	O_3 , NO_2
LaFeO_3	NO_2 , NO_3



Gambar 1. Skema sistem pemanas pada substrat Alumina (Al_2O_3) bagian belakang.



Gambar 2. Skema (a) sistem elektroda bagian depan dan (b) sistem lapisan tipis ZnO pada substrat Alumina (Al_2O_3) bagian depan.

Sensitivitas Serapan Gas

Sensitivitas sensor gas didefinisikan sebagai kemampuan dari sensor untuk merespon kehadiran gas yang berhubungan dengan besarnya/banyaknya pemberian zat. Secara matematis, sensitivitas S didefinisikan dengan rumus sebagai berikut [4,5,6];

$$S = \frac{\Delta R}{R_n} = \frac{|R_n - R_g|}{R_n} \times 100\% \quad \text{..... (1)}$$

dengan,

R_n = resistansi sensor sebelum diberi gas

R_g = resistansi sensor sesudah diberi gas
(reduktor atau oksidator)

R_n dan R_g diukur pada kondisi isothermal (suhu tetap).

Sensitivitas yang timbul oleh perubahan konduktivitas akibat serapan gas, diantaranya ditentukan oleh faktor suhu dan konsentrasi gas uji. Suhu berpengaruh pada perubahan konduktivitas yang meliputi perubahan sifat-sifat kelistrikan. Sedangkan peningkatan konsentrasi gas yang teradsorpsi menyebabkan adanya peningkatan interaksi antara gas dengan permukaan semikonduktor oksida logam sehingga akan meningkatkan jumlah *transfer* pembawa muatan (elektron) antara lingkungan gas dengan semikonduktor oksida logam dan jumlah ion-ion yang terbentuk pada lapisan terbawah [7,8,9].

METODE PERCOBAAN

Tahapan dalam pembuatan sensor gas sistim larik dari lapisan tipis ZnO meliputi; (1) penyiapan substrat alumina (Al_2O_3), (2) pembuatan elektroda dari lapisan tipis emas (Au) atau paltina (Pt) pada sisi muka substrat, (3) pembuatan elemen pemanas dari emas (Au) atau platina (Pt) pada sisi belakang substrat, (4) pembuatan lapisan tipis ZnO diatas elektroda, dan (5) karakterisasi sensor.

Penyiapan Substrat

Alumina ukuran 25 cm x 25 cm x 0,1 cm dipotong menjadi ukuran 5 cm x 1 cm x 0,1 cm menggunakan gergaji intan kecepatan rendah. Kemudian potongan-potongan alumina tersebut dicuci dengan acetone menggunakan penggetar *ultrasonic cleaner*.

Pembuatan Elektroda dari Lapisan Tipis Emas (Au) atau Platina (Pt)

- Substrat alumina ukuran 5 cm x 1 cm x 0,1 cm diletakkan diatas mal (pola) dan selanjutnya diletakkan pada tempat yang telah tersedia pada tabung sputtering (elektroda bagian atas (Anoda)).
- Target sputtering emas ukuran diameter 60 mm dan tebal 3 mm diletakkan pada katoda (elektroda bagian bawah). Kemudian tabung sputtering dihampakan hingga tekanan dalam orde 10^{-2} mbar.

- Setelah tabung sputtering cukup hampa, kemudian dilakukan eksperimen awal dengan cara mengatur parameter proses sputtering seperti tekanan gas sputter (Argon), jarak elektrode, tegangan elektrode, dan pemanas target. Tujuan dari eksperimen awal ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi optimum dari parameter proses. Indikator dari kondisi optimum parameter proses tersebut ditandai dengan nyala plasma yang terang dan homogen.
- Setelah kondisi tersebut dipenuhi, maka proses sputtering baru dilakukan.
- Untuk mengatur ketebalan lapisan tipis dapat dilakukan dengan mengatur lamanya proses sputtering maupun suhu substrat.
- Dalam eksperimen ini kondisi sputtering yang cukup bagus adalah tegangan elektrode 2,5 kV, tekanan 7×10^{-2} mbar, jarak elektroda 2,5 cm dan suhu pemanas 250°C.

Pembuatan Elemen Pemanas dari Emas (Au) atau Platina (Pt)

Elemen pemanas dibuat diatas substrat alumina pada sisi bagian belakang. Urutan pembuatan elemen pemanas seperti pada pembuatan elektroda seperti pada urutan No.2.

Pembuatan Lapisan Tipis ZnO

Lapisan tipis ZnO sebagai media aktif sensor dideposisikan diatas lapisan tipis elektroda. Urutan pembuatan lapisan tipis seperti tahapan pembuatan elektroda maupun elemen pemanas, bedanya target emas diganti dengan target ZnO.

Karakterisasi

Karakterisasi meliputi uji filamen pemanas, uji suhu kerja, sensitivitas sensor, analisis struktur mikro analisis komposisi kimia maupun analisis struktur kristal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Filamen Pemanas

Hasil pengujian dari filamen pemanas untuk berbagai catu daya tegangan disajikan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 terlihat bahwa untuk masing-masing catu daya yang berbeda memberikan kemampuan pemanasan yang berbeda pula, semakin meningkat catu daya yang diberikan, semakin meningkat pula suhu yang dicapai. Untuk catu daya 9 Volt ternyata lapisan tipis justru mengelupas, hal ini mungkin terlalu panas. Oleh karena sensor dengan bahan MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) biasanya beroperasi antara 280 °C hingga 350 °C, maka untuk memanasi filamen cukup digunakan batery 4,5 Volt atau untuk amannya

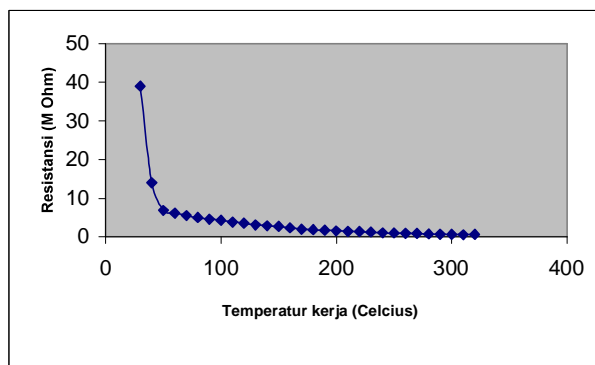
Tabel 2. Hasil uji dari filamen pemanas untuk pemanas untuk berbagai catu daya tegangan.

Catu Daya (Volt)	Suhu pada pengukuran menit pertama ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu pada pengukuran menit kedua ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu pada pengukuran menit ketiga ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu pada pengukuran menit keempat ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu pada pengukuran menit kelima ($^{\circ}\text{C}$)
1,5	53	53	57	56	59
3	156	165	164	165	168
4,5	276	274	276	278	295
6	376	376	380	381	391
7,5.	504	505	505	509	520
9	Lapisan megelupas				

digunakan battery 6 Volt. Konsumsi daya sebesar itu cukup rendah dan banyak dijual dipasaran.

Penentuan Suhu Kerja Sensor ZnO Sistem Larik

Penentuan suhu kerja sensor sangat diperlukan karena pada rentang suhu tertentu, lapisan tipis ZnO dapat berfungsi sebagai sensor gas. Hasil pengamatan tentang penentuan suhu kerja sensor sistim 3 larik disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara resistansi lapisan tipis ZnO sistem 3 larik yang dideposisikan pada suhu 1500 °C selama 3 jam terhadap suhu kerja.

Gambar 3. menunjukkan bahwa semakin suhunya naik maka resistansi cenderung menurun dan mulai stabil pada kondisi suhu diatas 260 °C. Ini berarti bahwa, nilai resistansi pada tempertur tertentu sudah tidak berubah (perubahannya sangat kecil) oleh kenaikan suhu. Pada kondisi rentang suhu 260 °C sampai dengan 330 °C, bahan ZnO dapat berfungsi sebagai sensor gas. Rentang suhu itu dikenal sebagai suhu kerja sensor ZnO. Pada suhu kerja tersebut, perubahan sensitivitas dari sensor gas tidak dipengaruhi (diakibatkan) oleh panas tetapi disebabkan adanya proses serapan gas yang mengenai permukaan bahan sensor. Pada saat melaksanakan pengujian, suhu kerja yang digunakan yaitu 300 °C.

Sensitivitas Lapisan Tipis ZnO Sistem Larik

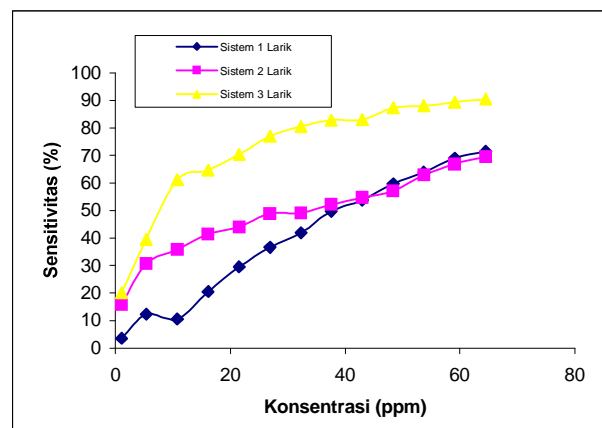
Dengan ketersediaan gas-gas yang ada di laboratorium, maka pengujian sensitivitas sensor ZnO baru menggunakan 4 jenis gas yaitu, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (etanol),

CH_3COCH_3 (aseton), HNO_3 (asam nitrat), dan NH_3 (amonia). Untuk volume/konsentrasi gas divariasi dari 0 sampai dengan 12 mL(64,5 ppm) dengan interval 1 mL (5,4 ppm).

Dari pengamatan tentang pengaruh konsentrasi berbagai macam gas uji yang ditunjukkan dengan adanya perubahan nilai resistansi, maka dengan menggunakan persamaan (1), sensitivitas sensor gas dapat dihitung.

Sensitivitas Sensor ZnO Sistem Larik terhadap Konsentrasi Gas Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)

Hasil perhitungan sensitivitas sensor ZnO sistim larik terhadap perubahan konsentrasi gas etanol, ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara sensitivitas sensor ZnO sistem larik terhadap konsentrasi gas $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa penambahan konsentrasi gas etanol akan meningkatkan sensitivitas bahan. Bahkan pada volume 0,2 mL atau konsentrasi 1.0 ppm (yang merupakan skala terkecil dari alat yang digunakan), sensor sudah mampu mendeteksi keberadaan gas etanol.

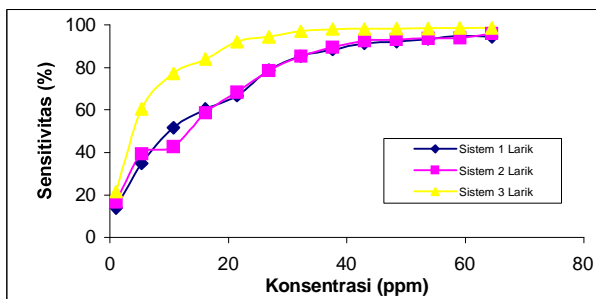
Larik sensor gas mewakili besarnya nilai resistansi. Larik-larik tersebut dihubungkan secara paralel. Dalam hubungan paralel (R_{paralel}), jumlah resistansi keseluruhannya lebih kecil daripada resistansi setiap larik. Jadi, sensor dengan jumlah larik lebih banyak, resistansi paralelnya akan lebih kecil. Apabila resistansi semakin kecil, maka suatu bahan tentunya akan lebih

konduktif. Oleh karena itu, sensor ZnO dengan jumlah larik lebih banyak akan lebih sensitif saat mendeteksi gas. Ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4 bahwa sensor ZnO sistem 3 larik lebih sensitif dibandingkan dengan sistem 1 maupun 2 larik.

Tampak pula pada Gambar 4 bahwa pada konsentrasi antara 1.-32,2 ppm (0,2 mL sampai dengan 6 mL), sensor ZnO sistem 2 larik lebih sensitif dibandingkan sistem 1 larik. Sedangkan pada konsentrasi diatas 37,6 ppm (7 mL), kedua sensor mempunyai sensitivitas yang hampir sama. Hal ini dikarenakan pada kondisi tersebut, sensor ZnO sistem 1 dan 2 larik mulai mengalami kejenuhan dalam mendeteksi penambahan konsentrasi gas.

Sensitivitas Sensor ZnO Sistem Larik Terhadap Konsentrasi Gas Aseton (CH_3COCH_3)

Hasil perhitungan sensitivitas sensor ZnO terhadap konsentrasi gas aseton, disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara sensitivitas sensor ZnO sistem larik terhadap konsentrasi gas aseton (CH_3COCH_3).

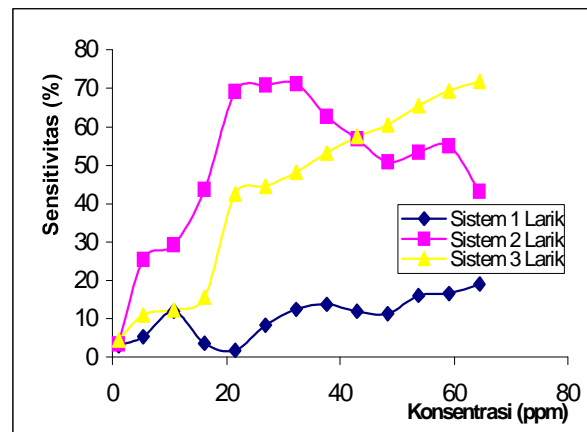
Gambar 5. menunjukkan bahwa sensor yang dibuat sangat sensitif terhadap keberadaan gas aseton. Hal ini diperlihatkan saat penelitian, perubahan resistansi yang menurun drastis ketika berinteraksi dengan gas aseton.

Pada konsentrasi 1 ppm sampai dengan 5,4 ppm (0,2 mL sampai dengan 1 mL), sensor sistem 2 larik sedikit lebih sensitif daripada sistem 1 larik. Namun pada konsentrasi diatasnya hampir sama dengan sensitivitas sistem 1 larik. Ini berarti bahwa untuk gas aseton, sensor sistem 1 dan 2 larik memperlihatkan perubahan sensitivitas yang tidak begitu berarti.

Tampak pula pada Gambar 5 bahwa sensor ZnO sistem 3 larik lebih sensitif daripada sistem 1 dan 2 larik, karena nilai resistansinya lebih kecil. Setiap penambahan konsentrasi gas aseton akan meningkatkan sensitivitas. Meskipun demikian, penambahan konsentrasi gas aseton secara terus menerus tidak selalu menyebabkan peningkatan sensitivitas, namun mendekati linear pada konsentrasi besar. Kondisi ini dikarenakan sensor telah mengalami kejenuhan dalam mendeteksi penambahan konsentrasi gas.

Sensitivitas Sensor ZnO Sistem Larik Terhadap Konsentrasi Gas Asam Nitrat (HNO_3)

Hasil perhitungan sensitivitas sensor ZnO terhadap konsentrasi gas asam nitrat, ditunjukkan pada grafik Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara sensitivitas sensor ZnO sistem larik terhadap konsentrasi gas asam nitrat (HNO_3).

Dari respon yang ditunjukkan dengan perubahan resistansi, tampak bahwa gas asam nitrat merupakan gas oksidator. Setiap penambahan konsentrasi gas, sensitivitas semakin besar karena semakin banyak gas yang teradsorpsi maka jumlah atom/ion oksigen pada permukaan ZnO akan meningkat dan jumlah elektron menurun.

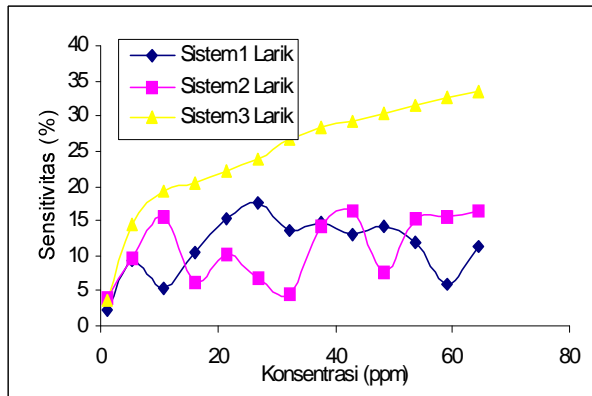
Gambar 6 memperlihatkan bahwa sensor ZnO sistem 2 larik juga sensitif terhadap keberadaan gas asam nitrat. Perubahan sensitivitas tampak begitu mencolok pada konsentrasi 21,4 ppm (4 mL) yaitu sebesar 69,07 %. Sensitivitas tertinggi yaitu 71,19 % pada konsentrasi 32,2 ppm (6 mL).

Interaksi antara gas asam nitrat dengan permukaan ZnO yang merupakan semikonduktor jenis *n*, akan menyebabkan pengurangan cacat *vacancy* karena penambahan komponen oksidan dari gas tersebut. Jadi, penurunan sensitivitas sensor sistem 2 larik disebabkan karena cacat *vacancy* pada bahan telah berkurang sehingga tidak memungkinkan bagi atom/ion oksigen untuk menempati kisi kristal bahan.

Sensitivitas sensor ZnO sistem 3 larik mengalami kenaikan untuk setiap penambahan konsentrasi gas asam nitrat. Ini berarti jumlah atom/ion oksigen pada permukaan bahan akan terus bertambah sehingga lapisan deplesi bertambah lebar dan potensial *barrier* meningkat. Begitu pula dengan sensitivitas sensor ZnO sistem 1 larik yang mengalami kenaikan walaupun tidak begitu mencolok.

Sensitivitas Sensor ZnO Sistem Larik terhadap Konsentrasi Gas Amonia (NH₃)

Hasil perhitungan sensitivitas sensor ZnO terhadap konsentrasi gas amonia, disajikan pada Gambar 7



Gambar 7. Hubungan antara sensitivitas sensor ZnO sistem larik terhadap konsentrasi gas amonia (NH₃).

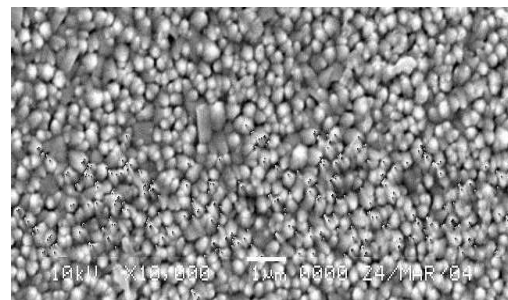
Pada Gambar 7 diperlihatkan bahwa sensitivitas sensor sistem 1 dan 2 larik kurang stabil (mengalami fluktuasi). Kondisi ini dikarenakan sensor yang dibuat kurang sensitif terhadap keberadaan gas amonia. Hal tersebut dibuktikan saat pengujian, sensor kurang tanggap ketika berinteraksi dengan gas amonia. Akan tetapi sensor ZnO sistem 3 larik mempunyai sensitivitas yang lebih besar dibandingkan sensor sistem 1 dan 2 larik. Ini karena nilai resistansi lapisan tipis ZnO sistem 3 larik lebih kecil daripada sistem 1 dan 2 larik yang membuat sensor sistem 3 larik mampu meningkatkan sensitivitas serapan terhadap gas amonia.

Dari Gambar 4 sampai dengan Gambar 7 menunjukkan bahwa lapisan tipis ZnO memberikan reaksi yang berbeda untuk setiap gas uji yang diserapnya. Kondisi ini dikarenakan setiap gas yang teradsorpsi pada

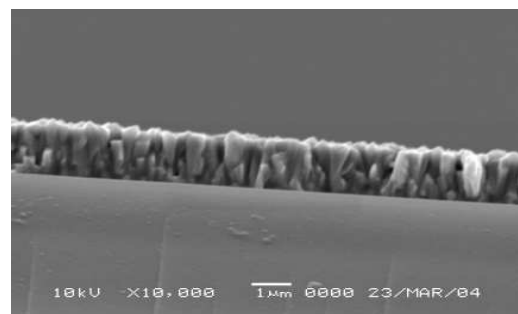
permukaan lapisan tipis ZnO mempunyai kemampuan *adsorpsi* yang berbeda tergantung pada suhu kerja lapisan dan interaksi molekuler antara gas dengan permukaan lapisan tipis.

Hasil Analisis Strukturmikro Lapisan Tipis ZnO Menggunakan SEM

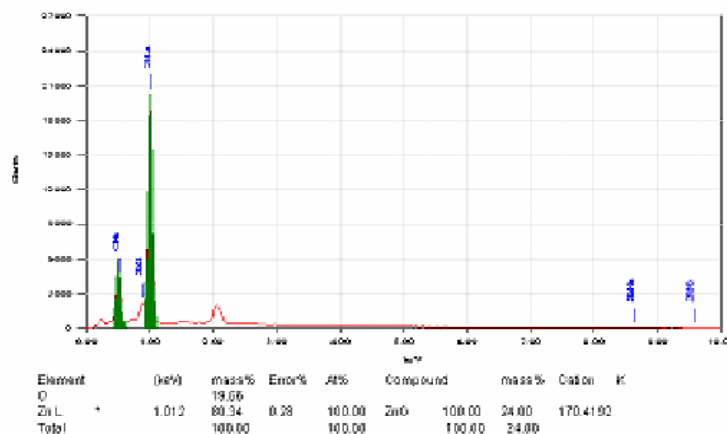
Strukturmikro permukaan maupun potongan melintang dari lapisan tipis ZnO yang diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* disajikan pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Hubungan antara resistansi lapisan tipis ZnO sistem 3 larik yang dideposisikan pada suhu 1500 °C selama 3 jam terhadap suhu kerja.



Gambar 9. Strukturmikro potongan melintang permukaan lapisan ZnO yang terbentuk pada suhu 250 °C dan waktu deposisi selama 1 jam.



Gambar 10. Komposisi kimia dari lapisan ZnO yang terbentuk pada suhu 250 °C, waktu deposisi selama 1 jam dan tekanan 3x10⁻² Torr.

Dari Gambar 8 terlihat bahwa butiran-butiran dari ZnO terdistribusi secara merata pada permukaan substrat, sedang dari Gambar 9, teramati bahwa ketebalan lapisan tipis yang terbentuk dalam order 1,4 μm .

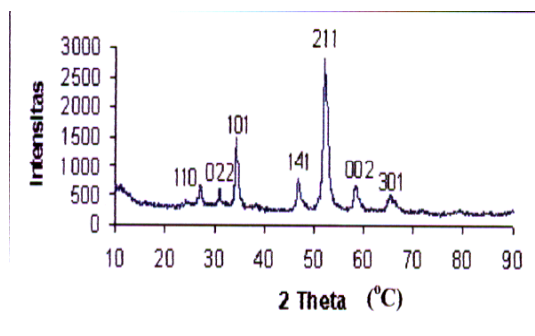
Hasil Analisis Unsur Menggunakan SEM/EDX

Komposisi kimia dari lapisan tipis ZnO hasil deposisi menggunakan teknik *D-C sputtering* pada kondisi suhu 250 $^{\circ}\text{C}$, waktu deposisi selama 1 jam dan tekanan vacuum 3×10^{-2} Torr disajikan pada Gambar 10.

Dari Gambar 10 teramati bahwa unsur-unsur penyusun lapisan tipis ZnO adalah Zn = 80,34 % massa dan O = 19,66 % massa, dan dari data juga teramati bahwa material yang terlapiskan betul-betul ZnO.

Hasil Analisis Struktur Kristal Menggunakan XRD

Dari Gambar 11 terlihat bahwa spektrum dari lapisan tipis ZnO hasil deposisi selama 120 menit pada tekanan 3×10^{-2} Torr dan suhu 250 mempunyai banyak puncak, ini berarti bahwa lapisan tersebut merupakan polikristal dengan bidang-bidang kristal (110), (022), (101), (141), (211), (002) dan (301)



Gambar 11. Difraktogram lapisan tipis ZnO hasil deposisi selama 120 menit pada tekanan 3×10^{-2} Torr dan suhu 250 $^{\circ}\text{C}$.

KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh tersebut dapat disimpulkan bahwa;

1. Sistem pemanas lapisan tipis yang telah dibuat cukup berhasil dan untuk mencapai suhu sekitar 295 $^{\circ}\text{C}$ yang merupakan suhu operasi sensor hanya diperlukan tegangan catu daya (baterai) 4,5 Volt. Keberhasilan ini merupakan langkah maju dalam mengatasi masalah sistem pemanas.
2. Dari pengujian respon sensor untuk berbagai gas uji juga diperoleh hasil bahwa dengan sistem larik ternyata resistansinya juga semakin kecil, sebagai contoh resistansi untuk sistem satu larik sebesar 150 M Ω sedangkan resistansi untuk sistem 3 larik sebesar 39 M Ω .

3. Juga dari uji sensitivitas sensor juga diperoleh hasil bahwa dengan jumlah larik yang lebih banyak ternyata sensor lebih sensitif.
4. Dari hasil analisis strukturmikro menggunakan SEM teramati bahwa lapisan tipis ZnO yang terbentuk terdistribusi secara merata pada permukaan substrat sedang ketebalan lapisan tipis dalam order 1,4 μm .
5. Dari analisis unsur menggunakan EDX teramati bahwa lapisan yang terbentuk betul-betul senyawa ZnO dengan komposisi Zn = 80,34 % massa dan O = 19,66 % massa.
6. Dari analisis struktur kristal menggunakan XRD teramati bahwa lapisan tipis ZnO yang terbentuk merupakan poli kristal dengan bidang-bidang kristal (110), (022), (101), (141), (211), (002) dan (301)

DAFTARACUAN

- [1]. COSANDEY, F., SKANDON, G., SINGHAL, A., *Material and Processing Issues in Nanostructured Semiconductor Gas Sensors*, The Minerals, Metals and Materials Society. (2000)
- [2]. GASKOV, M.A. and RUMYANTSEVA, N.M., *Inorganics Material*, **36** (2000) 293-301
- [3]. ELISABETH C DICKEY, OOMMAN K., VARGHESE, KEAT GONG, DAWEI GONG, MAGGIE PAULOSE and GRAIG A. GRIMES, *Sensors*, **2** (2002)
- [4]. JINHUI LIU, XINGJIU HUANG, GANGYE, WE LIU, ZHENG JIAO, WANGLIAN CHAO, ZHONGBZI ZHOU and ZENGLIANG YU, *Sensor*, **3** (2003)
- [5]. YUFENG SUN, XINGJIU HUANG, FANLI MENG and JINHUI LIU, *Sensors*, **4** (2004)
- [6]. VICTOR V. SYSOEV, ILYAKISELEV, MARKUS FRIETSCH and GOSCHNICK, *Sensors*, **4** (2004)
- [7]. T.P. HULSER, H. WIGGERS, F.E. KRUSS, A.LORKE, *Sensors and Actuators B* **109** (2005)
- [8]. S. DMITRIEV, *Moldavian Journal of the Physical Sciences*, **4**, NI (2005)
- [9]. P. JASINSKI, *Materials Science Poland*, **24** (1) (2006)